

10/520123

(12) NACH DEM VERTRÄG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
8. Januar 2004 (08.01.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/003528 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: **G01N 21/71**
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/006705
- (22) Internationales Anmeldedatum:
25. Juni 2003 (25.06.2003)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
102 29 498.4 1. Juli 2002 (01.07.2002) DE
- (71) Anmelder (*für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US*): **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E. V.** [DE/DE]; Hansastrasse 27c, 80686 München (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (*nur für US*): **NOLL, Reinhard** [DE/DE]; REINHARD NOLL, Brandenhofer Weg 72, 52066 Aachen (DE). **STEPPUTAT, Michael** [DE/DE]; Sebastianstrasse 8, 52066 Aachen (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (*national*): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (84) Bestimmungsstaaten (*regional*): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- Veröffentlicht:**
— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zwei-Buchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR CARRYING OUT EMISSION SPECTROMETRY

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR DURCHFÜHRUNG DER EMISSIONSSPEKTROMETRIE

(57) Abstract: The invention relates to a method and a device for carrying out emission spectroscopy, in particular laser emission spectroscopy. According to said method, a pulsed laser beam is automatically focussed on a workpiece to generate a laser-induced plasma, the radiation emitted from the plasma is detected and an elemental analysis is performed using the captured radiation spectrum. The invention is characterised in that a laser beam impingement is carried out with a variable pulse interval ΔT , that prior to the plasma generation, additional geometric parameters P 1, P 2 .. PN of a potential measurement location on the workpiece surface, in addition to the distance d of the autofocus lens from said workpiece surface are determined and in that an elemental analysis is only performed for the potential measurement locations, at which at least one of the additional geometric parameters lies within a predefined tolerance range [T1..T2].

WO 2004/003528 A2

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Durchführung der Emissionsspektroskopie, insbesondere der Laser-Emissionsspektroskopie, bei dem ein gepulster Laserstrahl zur Generierung eines laserinduzierten Plasmas automatisch auf ein Werkstück fokussiert wird, und bei dem die vom Plasma emittierte Strahlung detektiert und mit dem erfassten Strahlungsspektrum eine Elementanalyse durchgeführt wird. Die vorgeschlagenen Verbesserungen bestehen darin, dass eine Laserstrahlbeaufschlagung mit variablem Pulsabstand ΔT vorzunehmen ist, um neben dem Abstand d der Autofokussieroptik zur Werkstückoberfläche zusätzliche Geometrie-Parameter P 1, P 2 .. PN eines potentiellen Messortes auf der Werkstückoberfläche zu bestimmen, und nur für diejenigen potentiellen Messorte eine Elementanalyse durchzuführen, bei denen sich mindestens einer der zusätzlichen Geometrie-Parameter innerhalb eines vorgegebenen Toleranzbereichs $< T_1 \dots T_2 >$ befindet.

**Verfahren und Vorrichtung zur Durchführung der
Emissionsspektrometrie**

5

Anmelderin:

**Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten For-
schung e.V.**

10

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung
zur quantitativen und qualitativen Multi-Elementanalyse von
bewegten Messobjekten mit der Emissionsspektrometrie, vor-
15 zugsweise der Laser-Emissionspektrometrie.

Stand der Technik

Bei der Laser-Emissionsspektrometrie wird die Konzentration
einzelner chemischer Elemente in einer Probe dadurch be-
stimmt, dass mit Hilfe eines fokussierten Laserstrahls ein
20 Plasma auf der Oberfläche des Messobjekts erzeugt wird, und
die Konzentration des betrachteten Elements in der Probe un-
ter Verwendung der elementspezifischen Emissionen des laser-
induzierten Plasmas bestimmt wird.

In Fig. 1 sind die bei der Erzeugung des laserinduzierten
25 Plasmas auf der Oberfläche des Messobjekts bedeutsamen Grö-
ßen dargestellt. Eine Fokussieroptik 1 fokussiert einen ge-
pulsten Laserstrahl 2 mit der Propagationsrichtung 3 auf ein
Oberflächenelement 4 des Messobjekts. Das Koordinatensystem
ist so gewählt, dass die Propagationsrichtung 3 des Laser-
30 strahls 2 antiparallel zur z-Achse verläuft. Die Normale 5
des Oberflächenelements 4 schließt mit der z-Achse bzw. der
Laserstrahlachse einen Winkel α ein. Der Durchstoßpunkt 6
der Propagationsrichtung 3 mit dem Oberflächenelement 4 ist

das Zentrum der Projektion 7 des Laserstrahlquerschnitts auf das Flächenelement 4. Der Abstand der Fokusebene 8 des Laserstrahls 2 vom Durchstoßpunkt 6 wird mit Δs bezeichnet. Liegt die Fokusebene 8 von der Fokussieroptik aus gesehen 5 hinter dem Durchstoßpunkt 6, so entspricht dies positiven Werten für Δs . Typischerweise wird Δs positiv gewählt. Der Abstand der Fokussieroptik 1 vom Durchstoßpunkt 6 werde mit d bezeichnet.

Die Emission des entstehenden laserinduzierten Plasmas am 10 Ort 6 wird von der Empfangsoptik der Detektoreinheit 9 gesammelt und in ein Spektrometer geführt. Die Detektor- einheit des Spektrometers bestimmt hierbei für ein defi- niertes Zeitfenster die zeitintegrierte Emission der be- trachteten Spektrallinien. Für jedes Analytelement wird 15 dann mit Hilfe einer Kalibrierfunktion aus den abschnitts- weise zeitlich integrierten Emissionen der betrachteten Spektrallinien die Konzentration des Analyten in der Probe bestimmt. Hierzu ist es bekannt, die Eingangsgröße der Ka- librierfunktion aus dem Verhältnis der Emission einer be- trachteten Analytlinie zu einer Kombination der Emissionen 20 anderer Spektrallinien bzw. eines für die Gesamtemission des Plasmas repräsentativen Messsignals zu berechnen.

Die Laser-Emissionsspektrometrie kann wahlweise mit fester 25 oder mit variabler Brennweite der Fokussieroptik betrieben werden.

Bei der Laser-Emissionsspektrometrie mit Fokussieroptiken festgehaltener Brennweite muss das Messobjekt bis auf wenige Millimeter genau positioniert werden, um mittels einer 30 zuvor erstellten Kalibrierung eine quantitative Aussage über Analytkonzentrationen im Material des Messobjekts zu ge- winnen. Bei einer Änderung der Probenposition relativ zur

- feststehenden Fokuslage des Laserstrahls oder einer Änderung der Neigung des Oberflächenelements 4 ändert sich der detektierte Raumwinkel der Plasmaemission bedingt durch den veränderten Abstand der Probenoberfläche zur festgehaltenen
- 5 Position der Empfangsoptik der Detektoreinheit 9 oder durch eine partielle Abschattung des laserinduzierten Plasmas durch das Messobjekt. Diese Veränderung kann teilweise dadurch kompensiert werden, dass das Verhältnis des Messsignals der betrachteten Emissionslinie zu einer Kombination
- 10 von anderen Linienemissionssignalen und einem zur Gesamtemission des betrachteten Plasmas proportionalen Signals ausgewertet wird. Dieses Verfahren wird als "Referenzierung" oder "interne Standardisierung" bezeichnet.
- 15 Ein weiterer systematischer Fehler ergibt sich ferner aus einer veränderten Charakteristik der Emission des laserinduzierten Plasmas. Eine quantitative Aussage über Analytkonzentrationen im Material des Messobjekts wird dadurch erschwert oder unmöglich gemacht bzw. die gemessene Analytkonzentration ist fehlerbehaftet.
- 20

Die letztgenannte Fehlerursache kann zum Teil durch den Einsatz einer Autofokuseinheit in Verbindung mit einem gepulsten Laser festgehaltener Repetitionsrate behoben werden, so wie es M. Stepputat et. al., VDI-Berichte, 1667, 35-40 (2002) lehren. Die Autoren schlagen hierbei vor, in der Autofokuseinheit den Abstand zur Probenoberfläche mit einem Laser-Triangulationssensor zu bestimmen und die Fokuslage des Analyselasers auf diesen Abstand einzustellen. In dieser Anordnung sind der Laserstrahl der Triangulationseinheit und der Laserstrahl des Analyselasers koaxial angeordnet.

Darstellung der Erfindung

Der Erfindung liegt das technische Problem zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Emissionsspektrometrie, insbesondere der Laser-Emissionsspektrometrie, mit verbesserten Messgenauigkeit bereitzustellen, und zwar insbesondere für die emissionsspektrometrische Erfassung bewegter Objekte.

Der Lösung dieses technischen Problems erfolgt durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche. Vorteilhafte Weiterbildungen werden durch die abhängigen Ansprüche angegeben.

Erfindungsgemäß wurde erkannt, dass sich dieses technische Problem durch ein Verfahren lösen lässt, dass vor der Plasma-Generierung neben dem Abstand d der Autofokussieroptik zur Werkstückoberfläche zusätzliche Geometrie-Parameter P₁, P₂ .. PN eines potentiellen Messortes auf der Werkstückoberfläche bestimmt werden, und nur für diejenigen potentiellen Messorte eine Elementanalyse durchgeführt wird, bei denen sich mindestens einer der zusätzlichen Geometrie-Parameter innerhalb eines vorgegebenen Toleranzbereichs [T₁ .. T₂] befindet.

Die vorgeschlagene Lösung beruht auf der Erkenntnis, dass nach dem Stand der Technik stets auch Messorte auf dem Messobjekt erfasst werden, deren Oberfläche in geometrischer Hinsicht ungeeignet für eine quantitative Messung ist. Eine möglichst genaue Messung setzt nämlich voraus, dass die geometrische Beschaffenheit des Messortes weitgehend identisch zu derjenigen ist, welche bei der Aufnahme der Kalibrierkurve vorgelegen hat. Wurde die Kalibrierkurve bei Geometrieparametern P₁, P₂ .. PN gemessen, so erfüllt sie nämlich nur dann ihre Sollfunktion der Kalibrierung exakt, wenn - bei ansonsten festgehaltenen Parametern, wie insbesondere den

Laserparametern - bei der Vermessung eines Messobjekts dieselben Geometrie-Parameter vorliegen.

- In Annäherung an dieses Optimum wird in diesem Sinne vorgeschlagen, dass in einem ersten Schritt ein Toleranzbereich 5 [T1 .. T2] für die Geometrie-Parameter P1, P2 .. PN vorgegeben wird, welche jeweils die bei der Kalibriermessung vorgelegenen Geometrie-Parameter möglichst gut repräsentieren. Mit anderen Worten sollen die vorgegebenen Geometrie-Parameter bezüglich Art und Toleranzbereich denjenigen Geometrie-Parameter entsprechen, bei denen die Kalibrierkurve 10 aufgenommen wurde. Die Breite des Toleranzbereichs der Geometrie-Parameter ergibt sich aus den Anforderungen der Applikation an die Genauigkeit der Konzentrationsbestimmung und aus der Beschränkung durch die verwendeten Komponenten.
- 15 In einem zweiten Schritt werden dieselben Geometrie-Parameter P1, P2 .. PN an potentiellen Messorten des Werkstücks gemessen.

- Im Autofokusbetrieb wird ohnehin fortlaufend als ein Geometrie-Parameter der Abstand d der Autofokussieroptik zur Werkstückoberfläche bestimmt. Im Sinne der vorliegenden Erfindung wird daher nur für diejenigen potentiellen Messorte eine Elementanalyse durchgeführt, bei denen sich mindestens einer der zusätzlichen Geometrie-Parameter innerhalb eines vorgegebenen Toleranzbereichs [T1 .. T2] befindet.
- 25 Vorzugsweise ist einer der Geometrie-Parameter der Abstand d zwischen Fokussieroptik und Werkstückoberfläche. Auch dieser Abstand d sollte in diesem Sinne innerhalb eines durch die Kalibriermessung definierten Toleranzbereiches liegen wobei hervorgehoben werden soll, dass der Toleranzbereich für den 30 Parameter d unabhängig von dem Bereich ist, innerhalb dessen die Autofokuseinrichtung noch zuverlässig arbeitet.

Es ist ferner von Vorteil, wenn als Geometrie-Parameter die am potentiellen Messort vorliegende Neigung α der Werkstückoberfläche bzgl. der Laserstrahlachse bestimmt wird. Durch die Einstellung dieses Parameters innerhalb eines Toleranzbereichs wird explizit berücksichtigt, dass das Emissionspektrum des Plasmas von der Neigung am Messort abhängig ist. Die systematische Berücksichtigung dieser Abhängigkeit führt wunschgemäß zu einer Steigerung der Messgenauigkeit.

Gemäß vorstehenden Ausführungen sollte die relevanten Geometrie-Parameter d und α innerhalb eines Toleranzbereichs liegen:

$$d_u \leq d \leq d_o$$

$$-\alpha_{\max} \leq \alpha \leq \alpha_{\max}$$

Diese Parameter definieren insofern ein Prozessfenster hinsichtlich der Geometrie-Parameter innerhalb dessen die Emissionspektrometrie betrieben wird. Selbstverständlich kann diese Vorgehensweise bei Bedarf auch auf mehr relevante Geometrie-Parameter verallgemeinert werden.

Um zu verifizieren, dass die Messorte tatsächlich Geometrieparameter innerhalb des Messfensters aufweisen ist vorgesehen, dass vor der Plasmainduzierung von zumindest einem Teilbereich der Werkstückoberfläche das Oberflächenprofil mittels eines Triangulationsverfahrens bestimmt wird, und aus dem Oberflächenprofil die zusätzlichen Geometrieparameter errechnet werden. Mit den auf diese Weise bestimmten Ist-Werten für die relevanten Geometrie-Parameter erfolgt ein Vergleich mit den vorgegebenen Sollwerten bzw. wird überprüft, ob mindestens ein Geometrie-Parameter des Messortes innerhalb des vorgegebenen Toleranzbereichs fällt. Die Genauigkeit des Messergebnisses wird zunehmend gestei-

gert, wenn alle Geometrie-Parameter innerhalb des Toleranzbereichs liegen.

Um eine automatische Selektion geeigneter Messpunkte zu ermöglichen sind Mittel zur Vermessung der Probenoberfläche vorgesehen die auch quer zur Bewegungsrichtung des Messobjekts messen. So kann beispielsweise im erfindungsgemäßen Verfahren der Abstand d zwischen dem Oberflächenelement 4 und der Fokussieroptik 1 mit Hilfe einer Triangulationseinheit 17 bestimmt werden, siehe Fig. 4a. Die Anordnung der dabei erfassten Oberflächenpunkte 15 des Messobjekts ist in Fig. 4b schematisch dargestellt. Eine Triangulationseinheit 17 misst zeitgleich oder zeitlich hintereinander die senkrechten Abstände s₁, s₂, s₃ etc. von einer Referenzebene zu diskreten Messpunkten 15, welche sich auf der Oberfläche des Messobjekts befinden. Die Triangulationseinheit kann beispielsweise durch einen laserbasierten Lichtschnitt-Sensor, eine Multi-Punkt-Triangulationseinheit oder mehrere Triangulationssensoren realisiert werden. Der Abstand DT der Linien 14 und 14' zueinander ist dabei durch die Messrate der Triangulationseinheit und die Geschwindigkeit der Oberfläche des Messobjekts 4' bestimmt. Der Verlauf der Probenoberfläche 4' zwischen den erfassten Triangulationsmesspunkten 15 wird durch Interpolation bestimmt.

Aus dem Vorstehenden ergibt sich, dass das erfindungsgemäße Verfahren mit Gewinn bei der Untersuchung bewegter Objekte eingesetzt werden kann. So kann eine Vermessung von Teilen auf einem Band erfolgen die sich am Analyselaser vorbeibewegen, so beispielsweise Aluminium- oder Elektroschrottteile.

Der Messbetrieb erfolgt derart, dass nur für diejenigen potentiellen Messorte eine Elementanalyse durchgeführt wird, bei denen sich mindestens einer der zusätzlichen Geometrieparameter innerhalb eines vorgegebenen Toleranzbereichs [T1

.. T2] befindet. Hierfür können entweder die Daten von ungeeigneten Messorten verworfen werden, oder aber es wird nur an denjenigen Orten ein Plasma induziert, an denen die vorbestimmten Geometrie-Parameter im Toleranzbereich liegen. Im 5 letzten genannten Fall wird günstigerweise für den Fall, dass kein geeigneter Messort vorliegt, nur ein Pumppulse, aber kein Laserpuls ausgelöst. Die thermische Stabilität des Lasers wird dadurch erhöht.

Weiterhin kann vorgesehen sein, dass der Laserstrahl quer 10 zur Bewegungsrichtung des Messobjekts abgelenkt wird. Auf diese Weise können nicht nur potentielle Messorte in Vorschubrichtung des Analyselasers gewählt werden, sondern auch Messorte senkrecht zu dieser Vorschubrichtung. Dies erhöht die Anzahl der verwertbaren Messpunkte auf der Oberfläche 15 des Messobjekts, und erhöht so die Richtigkeit und Zuverlässigkeit der Analyse und der Identifikation.

Insbesondere bei kleinen, sich schnell relativ zum Laserstrahl bewegenden Messobjekten besteht die Gefahr, dass insgesamt nur wenig geeignete Messpunkte gefunden werden. Für 20 diesen Fall ist das Messergebnis mit einem beachtlichen statistischen Fehler behaftet. Um die Messgenauigkeit zu steigern wird in einem weiteren Aspekt der Erfindung vorgeschlagen, das Verfahren zur Durchführung der Emissionsspektrometrie, insbesondere zur Durchführung der Laser-Emissionsspektrometrie, bei welchem ein gepulster Laserstrahl zur Generierung eines laserinduzierten Plasmas automatisch auf ein Werkstück fokussiert wird, und bei dem die vom Plasma emittierte Strahlung detektiert und mit dem erfassten Strahlungsspektrum eine Elementanalyse durchgeführt wird, so 25 durchzuführen, dass die Laserstrahlbeaufschlagung mit variablen Pulsabstand ΔT vorgenommen wird.
30

- Der Pulsabstand kann hierbei zunächst so gewählt werden, dass für eine größere Relativgeschwindigkeit zwischen Analyselaser und Messobjekt der Pulsabstand verkleinert wird, und für eine kleinere Reativgeschwindigkeit vergrößert wird. Ebenso kann für kleinere Messobjekte der Pulsabstand kleiner gewählt werden um die Wahrscheinlichkeit zu erhöhen eine Messung vornehmen zu können. Die dadurch erzielte größere Anzahl von ermöglichten Messungen verbessert die statistische Genauigkeit des Analyseergebnisses.
- Bevorzugt wird bei der Pulsvariation ein Pulsabstand gewählt, dessen Wert innerhalb eines vorgegebenen Toleranzbereichs $[\Delta T^{\min} \dots \Delta T^{\max}]$ liegt. Dies erhöht die Zuverlässigkeit und Stabilität des Systems.
- Der zeitliche Abstand zwischen zwei Laserpulsen wird mit ΔT bezeichnet und ist typischerweise konstant. Er kann jedoch bei einem Lasersystem in einem eingeschränkten Bereich variiert werden. Mögliche Einschränkungen für den einzustellenden Pulsabstand und damit die momentane Repetitionsrate des Analyselasers können beispielsweise eine vergrößerte Streuung der Pulsennergie, eine Veränderung der thermischen Stabilität des Analyselasers und dadurch bedingte Änderungen des Strahlprofils oder der Strahlrichtung, oder eine Überschreitung der Grenzwerte der Pumpelektronik für die Erzeugung von Pumppulsen des Lasermediums sein.
- Die Pulsvariation wird vorteilhafterweise derart vorgenommen, dass für den Fall, dass eine geeignete Erfassungseinrichtung wie beispielsweise eine Lichtschranke, eine Triangulationseinheit oder dergleichen ein Messobjekt erfasst, ein kleinerer Pulsabstand für den Analyselaser gewählt wird als für den Fall, dass kein Messobjekt erfasst wird. Diese Vorgehensweise führt dazu, dass bei Vorhandensein eines Messobjekts möglichst viele Messungen vorgenommen werden was

die statistische Messgenauigkeit steigert. Erfasst der Analyselaser hingegen kein Messobjekt so wird der Pulsabstand vergrößert wodurch der Laser thermalisieren kann.

Die oben beschriebene Erfassung zusätzlicher Geometrie-
5 Parameter und die Durchführung einer Messung nur an denjenigen Orten, an denen mindestens einer der zusätzlichen Geometrie-Parameter innerhalb eines vorgegebenen Toleranzbereichs liegt, kann nun alternativ oder kumulativ zur vorstehend vorgeschlagenen Pulsvariation erfolgen. Werden beide
10 Verfahrensverbesserungen durchgeführt, so bedeutet dies, dass für den Fall, dass eine geeignete Messposition vom Analyselaser erfasst wird, ein kleinerer Pulsabstand gewählt wird als für den Fall, dass keine geeignete Messposition erfasst wird. Eine geeignete Messposition ist hierbei eine
15 Messposition, deren vorgegebene Geometrie-Parameter innerhalb des vom Anwender gewählten Prozessfensters liegen. Optimal ist es daher zunächst, wenn im ersten Fall als Pulsabstand ΔT^{\min} , und im zweiten Fall ΔT^{\max} gewählt wird.

Allerdings muss auch beachtet werden, dass im Falle eines
20 längeren Laserbeschusses mit dem Pulsabstand ΔT^{\min} bzw. maximaler Repetitionsrate der Laser thermisch stark belastet wird. Für diesen Fall ist es zur Gewährleistung eines stabilen Systems erforderlich, den mittleren Pulsabstand ΔT_{Mittel} auf den Sollwert ΔT_{Soll} einzuregeln wofür bekannte Regelverfahren eingesetzt werden können. Mit anderen Worten variiert
25 der im zeitlichen Mittel vorliegende Pulsabstand ΔT_{mittel} um den Sollwert ΔT_{Soll} .

Ebenso ist vorgesehen, dass für den Fall, dass sich kein
Messobjekt an der Messposition befindet, den Pulsabstand mit
30 bekannten Regelverfahren auf den Sollwert ΔT_{Soll} des Lasersystems einzuregeln. Der Sollwert ΔT_{Soll} ist der Pulsabstand,

der für den Betrieb mit festgehaltener Repetitionsrate spezifiziert ist. Befindet sich allerdings ein Messobjekt an der Messposition, wird der Pulsabstand für jeden Puls individuell gewählt. Dabei wird der Pulsabstand immer innerhalb eines system- und applikationsspezifischen Bereichs $[\Delta T_{\min}, \Delta T_{\max}]$ eingestellt, welcher auch von den Pulsabständen der zuvor abgegebenen Pulse abhängt. Für jeden einzelnen Pulsabstand ΔT werden die möglichen Extremwerte ΔT_{\min} und ΔT_{\max} neu bestimmt, bzw. wird der Pulsabstand ΔT für jeden Puls individuell eingestellt. Dabei gehen die gerätebedingten Extremwerte ΔT_g^{\min} und ΔT_g^{\max} für einen einzelnen Pulsabstand ΔT sowie der mittlere Pulsabstand $\Delta T_{\text{mittel},N}$ über die letzten N erzeugten Laserpulse ein. Die Pulsabstände ΔT der Laserpulse werden immer so gewählt, dass der mittlere Pulsabstand $\Delta T_{\text{Mittel},N}$ über die letzten N Pulse immer einen Wert innerhalb des Bereichs $[\Delta T_{\text{mittel},N}^{\min}, \Delta T_{\text{mittel},N}^{\max}]$ annimmt. Zusammengefasst kann dies durch folgende Ausdrücke beschrieben werden:

$$\Delta T \in [\Delta T_{\min}, \Delta T_{\max}]$$

$$20 \quad \Delta T_{\text{mittel},N} \in [\Delta T_{\text{mittel},N}^{\min}, \Delta T_{\text{mittel},N}^{\max}]$$

Befindet sich ein Messobjekt in Messposition, werden die Werte für ΔT_{\min} und ΔT_{\max} nach den folgenden Regeln bestimmt:

$$\Delta T_{\min} = \Delta T_g^{\min} \quad \text{für } \Delta T_{\text{mittel},N} > \Delta T_{\text{mittel},N}^{\min}$$

$$\Delta T_{\min} = \Delta T_g^{\max} \quad \text{für } \Delta T_{\text{mittel},N} \leq \Delta T_{\text{mittel},N}^{\min}$$

$$25 \quad \Delta T_{\max} = \Delta T_g^{\max} \quad \text{für } \Delta T_{\text{mittel},N} < \Delta T_{\text{mittel},N}^{\max}$$

$$\Delta T_{\max} = \Delta T_g^{\min} \quad \text{für } \Delta T_{\text{mittel},N} \geq \Delta T_{\text{mittel},N}^{\max}$$

Die oben beschriebene Einschränkung der möglichen Pulsabstände ΔT führt dazu, dass bei einem Messobjekt, welches sich mit konstanter Geschwindigkeit v senkrecht zur Strahlpropagationsrichtung 3 an dem Analysesystem vorbeibewegt, nicht jeder beliebige Oberflächenpunkt auf der Probenoberfläche gemessen werden kann. Vielmehr ergibt sich das in Fig. 2 dargestellte Raster von möglichen Messbereichen 10 und 10' auf der Probenoberfläche 4'. Die Länge MX eines Messbereichs 10' ergibt sich aus den Beschränkungen der Pulsaabstände ΔT . Der Abstand 11 vom letzten Auftreffort 12 des Analyselasers 19 im Messbereich 10 zum Anfang des folgenden Messbereichs 10' ergibt sich aus dem minimal einstellbaren Pulsaabstand ΔT_{\min} in Verbindung mit der Geschwindigkeit des Messobjekts v zu $v \times \Delta T_{\min}$. Analog ergibt sich das Ende des Messbereichs 10' in einem Abstand 13 von der Messposition 12 aus dem maximal einstellbaren Pulsaabstand ΔT_{\max} in Verbindung mit der Geschwindigkeit des Messobjekts v zu $v \times \Delta T_{\max}$.

Fig. 3 zeigt beispielhaft den Messbereich 10' in der yz-Ebene in rechteckiger Gestalt. Die Höhe des Messbereichs 10' in z-Richtung wird mit MZ bezeichnet und ist durch die minimal und maximal einstellbaren Abstände d_u und d_o des Durchstoßpunktes 6 zur Fokussieroptik 1 gegeben. Die Breite MY des Messbereichs 10' ist durch den mit der Fokussieroptik maximal einstellbaren Strahlablenkwinkel γ und den minimal einstellbaren Abstand d_u , als Grenze des vertikalen Fokusierbereichs MZ bestimmt. Die Breite MY ist dabei so gewählt, dass für jede y-Koordinate innerhalb MY innerhalb des maximalen Strahlablenkwinkels γ jede vertikale Position z innerhalb des Fokusierbereichs MZ erreicht werden kann.

Es wird angestrebt, innerhalb des Messfensters 10' die nächstmögliche Messposition 12' so zu lokalisieren, dass die oben genannten Parameter Pulsabstand ΔT , Abstand y , Abstand d und der Neigungswinkel α im Prozessfenster liegen, und die 5 nächste Messung nur an dieser Position durchgeführt wird. Das Prozessfenster ist somit definiert als

$$d_u \leq d \leq d_o$$

$$-\alpha_{\max} \leq \alpha \leq \alpha_{\max}$$

$$y_u \leq y \leq y_o$$

10 $\Delta T_{\min} \leq \Delta T \leq \Delta T_{\max}$

Um den einzelnen Laserpuls an den so zu bestimmenden optimalen Messpositionen 12, 12' positionieren zu können, wird der Zeitpunkt der Erzeugung des Laserpulses durch die Systemsteuerung ermittelt und der Strahl des Analyselasers mit 15 einer Strahlablenkeinheit quer zur Vorschubrichtung - d.h. in y -Richtung - positioniert. Durch dieses Verfahren wird die Anzahl der verwertbaren Messungen auf bewegten Teilen gegenüber dem Stand der Technik erheblich gesteigert.

Der Veranschaulichung der Verfahrensdurchführung dient Fig. 20 5. An der Position x_A wird zum Zeitpunkt t_A die Oberfläche 4' des Messobjekts 16 durch die Triangulationseinheit 17 erfasst. Für jede gemessene Linie 14 werden die Abstandswerte s der Triangulationsmesspunkte 15 zur Autofokus-Regelung 18 übertragen. Die Autofokus-Regelung bestimmt dann im nächsten 25 gültigen Messbereich 10' mit Hilfe des interpolierten Oberflächenverlaufs den nächstmöglichen Messpunkt 12', dessen Parameter ΔT , d und α im gültigen Prozessfenster liegen. Die Suche im nächsten Messfenster 10' nach einer Messposition 12' mit gültigem Prozessfenster wird dabei vorzugsweise

von kleinen zu großen ΔT und dabei für jedes ΔT von kleinen zu großen Abständen zur y-Koordinate der Messposition 12 des vorhergehenden Messbereichs 10 gesucht. Somit werden Messpunkte bevorzugt, die im Rahmen des möglichen Messbereichs 5 10' einen minimalen räumlichen Abstand zum vorherigen Puls haben. Damit wird immer die im Rahmen der Applikation maximal mögliche Anzahl von Messpunkten 12, 12' auf der Probenoberfläche 4' realisiert.

Kann im Messbereich 10' keine Messposition 12' im Prozessfenster gefunden werden, wird ein Pumppulse des Lasers, aber kein Laserpuls ausgelöst. Der einzustellende Pulsabstand ΔT wird dabei folgendermaßen bestimmt:

$$\Delta T = \Delta T_g^{\min} \text{ für } \Delta T_{\text{mittel},N} > \Delta T_{\text{Soll}}$$

$$\Delta T = \Delta T_g^{\max} \text{ für } \Delta T_{\text{mittel},N} \leq \Delta T_{\text{Soll}}$$

15 Damit wird die thermische Stabilität des Lasersystems erhöht und gleichzeitig der mittlere Pulsabstand $\Delta T_{\text{mittel},N}$ auf den Sollwert ΔT_{Soll} geregelt. Wurden bereits für eine definierte Anzahl von Pulsen nur Pumppulse, aber keine Laserpulse ausgelöst, und soll erneut nur ein Pumppulse ausgelöst werden, 20 so wird ein Laserpuls ausgelöst, dessen zugehörige Messwerte aber verworfen werden. Die thermische Stabilität des Lasers wird durch diese "Blindpulse" erhöht.

Fig. 6 zeigt die beschriebene Regelung der Pulsabstände für die Messung an einem Messobjekt exemplarisch in der 25 xz-Ebene. Dabei ist die x-Achse durch eine äquivalente Zeitachse (t-Achse) wiedergegeben. Die Bezeichnung P steht für einen ausgelösten Pumpulse, L für einen ausgelösten Laserpuls. Zu den Zeitpunkten t_1 und t_2 befindet sich kein Messobjekt an der Messposition und die Pulsabstände werden

zu ΔT_{soll} gewählt. Es werden Pumppulse P, aber keine Laserpulse L ausgelöst. Zu den Zeitpunkten t_3 und t_4 ist das Messobjekt in Position, die Oberfläche liegt in den Messbereichen $10^3'$, $10^4'$ und beide Pulsabstände werden zu ΔT_g^{min} gewählt. Dies soll möglichst viele aufeinanderfolgende Messungen ermöglichen. Es werden Pumppulse P und Laserpulse L ausgelöst. Zum Zeitpunkt t_5 kann keine Messposition im Messbereich $10^5'$ gefunden werden und daher wird ein Pulsabstand von ΔT_g^{max} eingestellt. Es wird ein Pumppuls P, aber kein Laserpuls L ausgelöst. Zum Zeitpunkt t_9 sind bereits drei Messungen zu den Zeitpunkten t_6 bis t_8 mit einem Pulsabstand von ΔT_g^{min} durchgeführt worden und der mittlere Pulsabstand über drei Pulse hat bereits den Grenzwert $\Delta T_{\text{mittel},3}$ erreicht. Daher ergibt sich der minimal einstellbare Pulsabstand ΔT_{min} zu ΔT_g^{max} und der Pulsabstand ΔT kann nur zu ΔT_g^{max} eingestellt werden. Es wird eine geeignete Messposition gefunden, und es werden ein Pump- und ein Laserpuls mit einem Pulsabstand von ΔT_g^{max} ausgelöst. Zum Zeitpunkt t_{12} kann im Messbereich $10^{12}'$ keine Position gefunden werden, deren Parameter im Prozessfenster liegen. Hier ist der Winkel α der Oberflächennormalen zu groß oder die Oberflächenelemente liegen außerhalb des vertikalen Messbereichs MZ. Da für die mittlere Pulsdauer $\Delta T_{\text{mittel},3} < \Delta T_{\text{soll}}$ gilt, wird der Pulsabstand auf ΔT_g^{max} gesetzt. Zum Zeitpunkt t_{14} ist das Messobjekt nicht mehr an der Messposition und die Pulsabstände werden wieder auf ΔT_{soll} eingeregelt.

Für die ermittelte nächstmögliche Messposition $12'$ werden die Parameter ΔT , y und d zum Zeitpunkt t_8 der Ankunft des Messobjekts 16 an der Messposition x_8 zur Fokussierung des Laserstrahls 2 durch die Fokussieroptik 1 auf die Oberfläche $4'$ des Messobjekts 16 genutzt. Die Fokussieroptik 1, beste-

hend aus der Autofokus-Optik 1a und der Strahlablenkeinheit 1b, fokussiert den Laserstrahl 2 des Analyselasers 19 an der Messposition x_B auf die Probenoberfläche 4', siehe hierzu Fig. 5.

- 5 Zur Einstellung der Position des Laserfokus wird wie folgt vorgegangen. Der vertikale Abstand d wird durch die Autofokus-Optik 1a eingestellt. Der einstellbare vertikale Messbereich ist MZ. Die Stellgröße der Autofokus-Optik wird dabei so gewählt, dass Δs über alle Messungen konstant ist. Die
10 y-Koordinate der nächsten Messposition 12' wird durch die Strahlablenkungseinheit 1b eingestellt. Der einstellbare Bereich für diesen horizontalen Versatz ist MY. Die x-Koordinate der nächsten Messposition 12' wird durch den Zeitpunkt der Messung eingestellt. Die Länge des einstellbaren Messbereichs 10' ist MX.
15

Die Autofokus-Optik 1a kann zum Beispiel mit einem Doppel-linsensystem, bestehend aus einer konkaven und einer konvexen Linse, realisiert werden, wobei der Abstand der Fokuslage zur Fokussieroptik 1 durch Bewegung der konkaven Linse
20 parallel zur optischen Achse variiert werden kann. Die Ablenkeinheit 1b kann beispielsweise mittels eines X/Y-Scannersystems in Verbindung mit einem F-Theta Objektiv realisiert werden.

Die Emission des an der Messposition x_B entstehenden laser-
25 induzierten Plasmas 6 wird von der Empfangsoptik der Detektoreinheit 9 gesammelt und in ein Spektrometer 20 geführt. Die Empfangsoptik der Detektoreinheit 9 ist so gestaltet, dass Plasmaemissionen im gesamten Messbereich MX×MY detektiert werden können, vgl. Fig. 3. Dies kann beispielsweise
30 durch ein Faserbündel erreicht werden, welches parallel zur y-Achse angeordnet am Messort einen linienförmigen Querschnitt besitzt, die Plasmaemission jedes möglichen Messorts

detektieren kann, und dessen spektrometerseitiges Ende über die Querschnittswandlung auf den Eintrittsspalt des Spektrometers angepasst und vor diesem montiert ist. Die Dispersionsseinheit 20a des Spektrometers 20 zerlegt die detektierte

5 Plasmaemission spektral und die Detektoreinheit 20b des Spektrometers bestimmt für ein definiertes Zeitfenster die zeitintegrierte Emission der betrachteten Spektrallinien.

Die durch den Winkel α bedingte Änderung der zeitintegrierten Plasmaemission aller betrachteten Linienemissionen gegenüber einem Fall von zum Beispiel $\alpha=0^\circ$ wird durch eine Korrektur-Funktion $f(\alpha)$ korrigiert. Allgemeiner gesprochen wird für den Fall einer Abweichung eines gemessenen Neigungswinkels α von einem vorgegebenen Wert α_k eine Korrektur des Emissionsspektrums vorgenommen.

10

15 Die Konzentration jedes betrachteten Analyten in der Probe wird mit Hilfe einer Kalibrierfunktion bestimmt. Hierzu berechnet die Detektoreinheit 20b für jede laserinduzierte Plasmaemission die zu einer Analytlinie gehörigen referenzierten Einzelpulssignale. Diese berechnen sich aus dem Ver-

20 hältnis der korrigierten zeitintegrierten Emission der betrachteten Analytlinie zu einer Kombination der anderen korrigierten Linienemissionen bzw. eines für die Gesamtemission des Plasmas repräsentativen Messsignals und dem durch die Triangulationseinheit 17 bestimmten vertikalen Abständen s_1 ,

25 s_2 , s_3 Alle Analytlinien, deren abschnittsweise zeitintegrierte Plasmaemission einen Wert außerhalb des jeweiligen Messbereichs einnehmen, werden verworfen. Für jede Analytlinie wird dann der Mittelwert aller zu dem Messobjekt 16 gehörigen referenzierten Einzelpulssignale gebildet. Die Kon-

30 zentration des betrachteten Analyten in der Probe wird über eine Kalibrierfunktion bestimmt, in die alle gemittelten referenzierten Einzelpulssignale der zugehörigen Analytlinien eingehen. Die Gewichtung der gemittelten referenzierten Ein-

zelpulssignale der verschiedenen Analytlinien in der Kalibrierfunktion hängt dabei von den Werten der gemittelten referenzierten Einzelpulssignale selbst ab.

- Die so für jedes Messobjekt bestimmten Analytkonzentrationen
5 werden von der Detektoreinheit 20b des Spektrometers an eine Anlagensteuerung 21 übertragen, welche diese beispielsweise zur Sortierung der Messobjekte, zur Verwechslungsprüfung oder zur Dokumentation für die Qualitätssicherung nutzt.

Bezugszeichenliste

- 1 Fokussieroptik
- 1a Autofokus-Optik
- 1b Strahlablenkeinheit
- 5 2 Laserstrahl
- 3 Propagationsrichtung
- 4 Element der Probenoberfläche
- 4' Oberfläche der Probe
- 5 Oberflächennormale
- 10 6 Durchstoßpunkt
- 7 Projektion des Laserstrahlquerschnitts auf das Oberflächenelement
- 8 Fokusebene
- 9 Detektoreinheit
- 15 10,10' Messbereich
- 11 Abstand des letzten Messortes zum Anfang des folgenden Messbereichs
- 12,12' Messposition
- 13 Abstand des letzten Messortes zum Ende des
- 20 folgenden Messbereichs
- 14,14' Messlinien der Triangulationseinheit

15 durch die Triangulationseinheit erfasster Punkt der Probenoberfläche

16 Messobjekt

17 Triangulationseinheit

5 18 Autofokus-Regelung

19 Analyselaser

20 Spektrometer

20a Dispersionseinheit des Spektrometers

20b Detektoreinheit des Spektrometers

10 21 Anlagensteuerung

Patentansprüche

1. Verfahren zur Durchführung der Emissionsspektrometrie, insbesondere der Laser-Emissionsspektrometrie,
 - 5 bei dem ein gepulster Laserstrahl zur Generierung eines laserinduzierten Plasmas automatisch auf ein Werkstück fokussiert wird,
 - 10 bei dem die vom Plasma emittierte Strahlung detektiert und mit dem erfassten Strahlungsspektrum eine Elementanalyse durchgeführt wird,
 - 15 dass vor der Plasma-Generierung neben dem Abstand d der Autofokussieroptik zur Werkstückoberfläche zusätzliche Geometrie-Parameter P1, P2 .. PN eines potentiellen Messortes auf der Werkstückoberfläche bestimmt werden,
 - 20 und nur für diejenigen potentiellen Messorte eine Elementanalyse durchgeführt wird, bei denen sich mindestens einer der zusätzlichen Geometrie-Parameter innerhalb eines vorgegebenen Toleranzbereichs [T1 .. T2] befindet.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als Geometrie-Parameter der am potentiellen Messort vorliegende Neigungswinkel α der Werkstückoberfläche bzgl. der Laserstrahlachse bestimmt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass für den Fall einer Abweichung eines gemessenen Neigungswinkels α von einem vorgegebenen Wert α_k eine Korrektur des Emissionsspektrums vorgenommen wird

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass vor der Plasmainduzierung von zumindest einem Teilbereich der Werkstückoberfläche das Oberflächenprofil mittels eines Triangulationsverfahrens bestimmt wird, und aus dem Oberflächenprofil die zusätzlichen Geometrie-Parameter errechnet werden.
5
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass nur an denjenigen Orten ein Plasma induziert wird, an denen alle vorbestimmten Geometrie-
10 Parameter im Toleranzbereich liegen.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die vorgebenen Geometrie-Parameter bezüglich Art und Toleranzbereich denjenigen Geometrie-Parametern entsprechen, bei denen zuvor eine Kalibrier-
15 kurve aufgenommen wurde.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Laserstrahl quer zur Bewegungsrichtung des Messobjekts abgelenkt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass bewegte Teile auf einem Band vermessen
20 werden
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass Aluminium- oder Elektroschrott vermes-
sen wird.

10. Verfahren zur Durchführung der Emissionsspektrometrie, insbesondere zur Durchführung der Laser-Emissionspektrometrie nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
 - 5 bei dem ein gepulster Laserstrahl zur Generierung eines laserinduzierten Plasmas automatisch auf ein Werkstück fokussiert wird,
 - 10 bei dem die vom Plasma emittierte Strahlung detektiert und mit dem erfassten Strahlungsspektrum eine Elementanalyse durchgeführt wird,
- 15 dadurch gekennzeichnet,
 10. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Laserstrahlbeaufschlagung mit variablem Pulsabstand ΔT erfolgt
 11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass, dass die Werte von ΔT innerhalb eines vorgegebenen Toleranzbereichs [$\Delta T_{\min} \dots \Delta T_{\max}$] liegen.
 - 20 12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass für den Fall, dass eine Erfassungseinrichtung ein Messobjekt erfasst ein kleinerer Pulsabstand gewählt wird als für den Fall, dass kein Messobjekt erfasst wird
 - 25 13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass für den Fall, dass die Erfassungseinrichtung kein Messobjekt erfasst, ein Pumppulse, aber kein Laserpuls ausgelöst wird

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Pulsabstand ΔT für jeden Puls individuell eingestellt wird.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass für jeden Puls die Grenzen des Toleranzbereichs ΔT_{\min} bzw. ΔT_{\max} individuell bestimmt werden
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass der im zeitlichen Mittel vorliegende Pulsabstand ΔT_{mittel} um einen Sollwert ΔT_{Soll} variiert.
17. Vorrichtung für die Emissionsspektrometrie, insbesondere für die Laser-Emissionsspektrometrie, mit einem Pulslaser zur Generierung eines laserinduzierten Plasmas auf einem Werkstück, einer Autofokuseinrichtung für den Laserstrahl, einem Detektor zur Erfassung der vom Plasma emittierten Strahlung, und mit einer Einrichtung zur Durchführung einer Elementsanalyse,
dadurch gekennzeichnet,
dass eine Einheit zur Ablenkung des Laserstrahls und/oder Mittel zur Vermessung der Probenoberfläche quer zur Bewegungsrichtung des Messobjekts vorgesehen sind

1/6

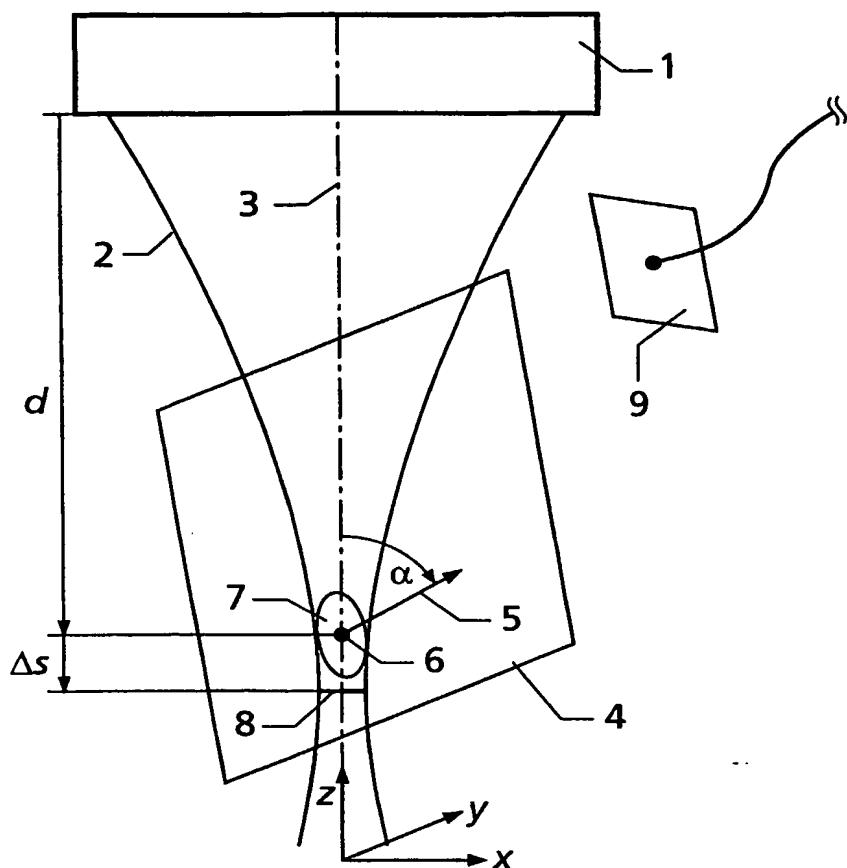


Fig. 1

2/6

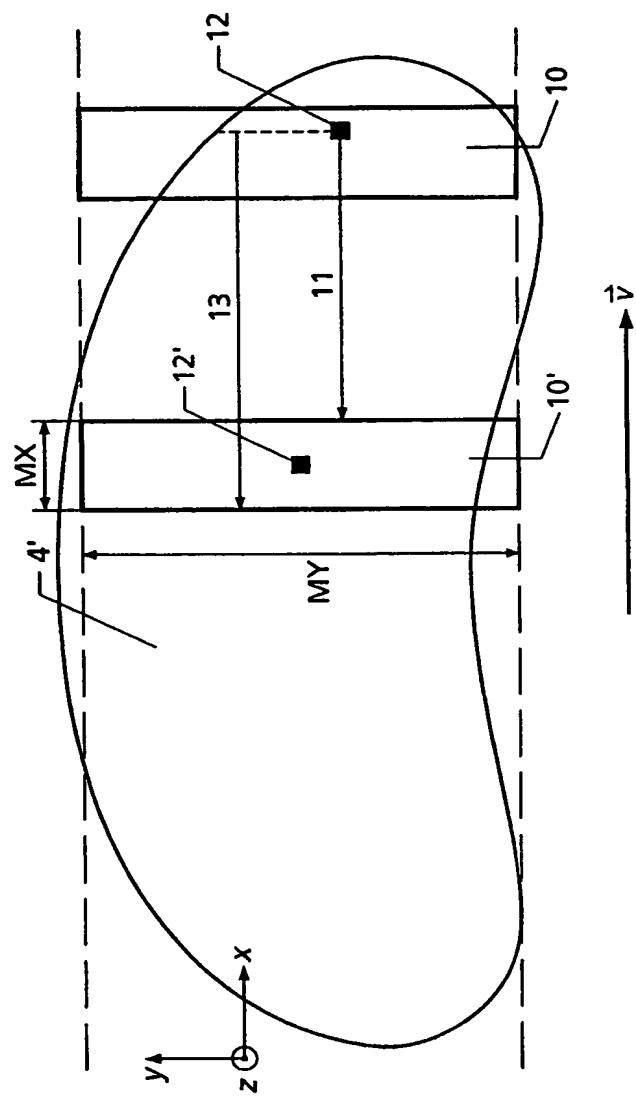


Fig. 2

3/6

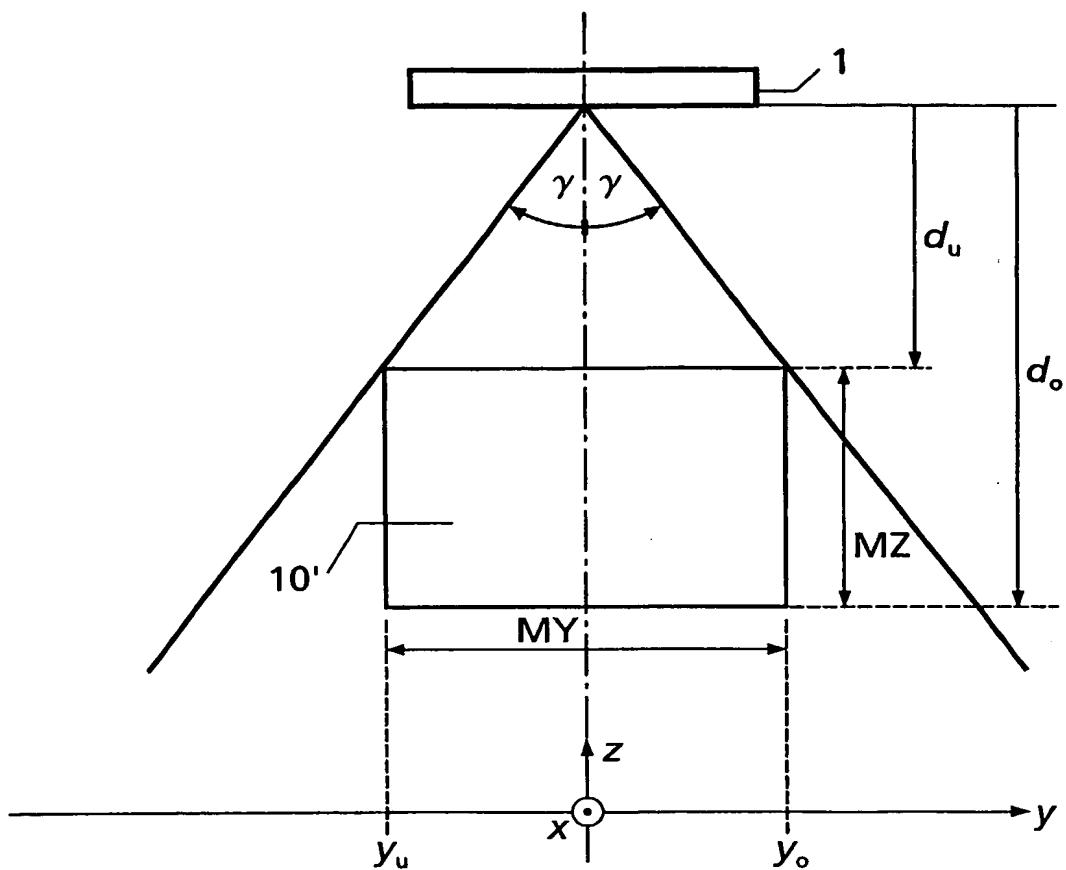


Fig. 3

4/6

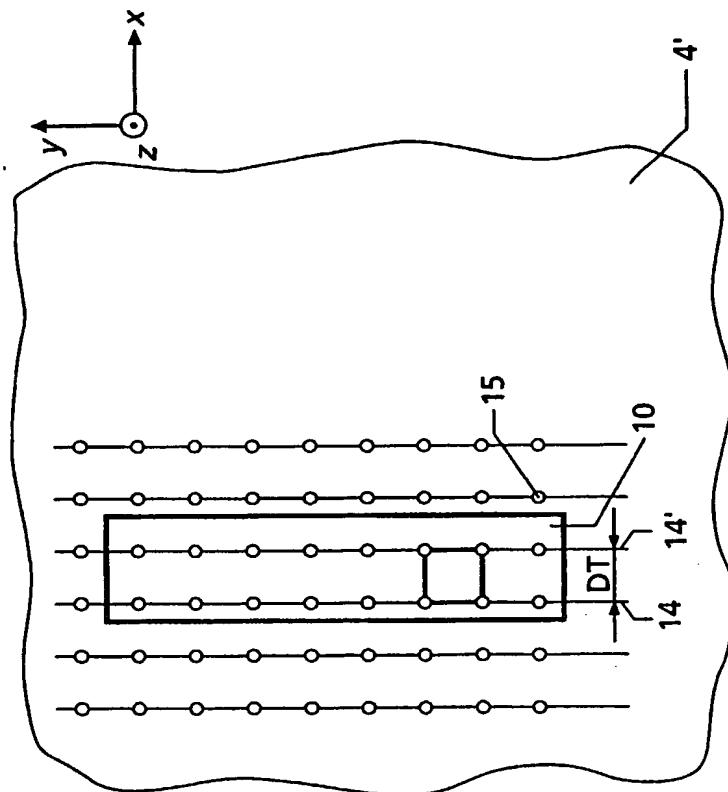


Fig. 4 b

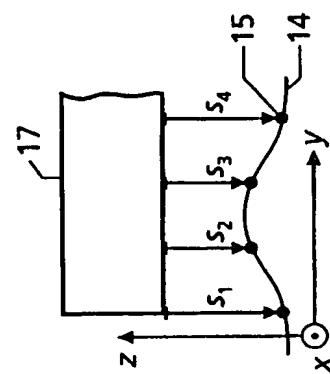


Fig. 4 a

5/6

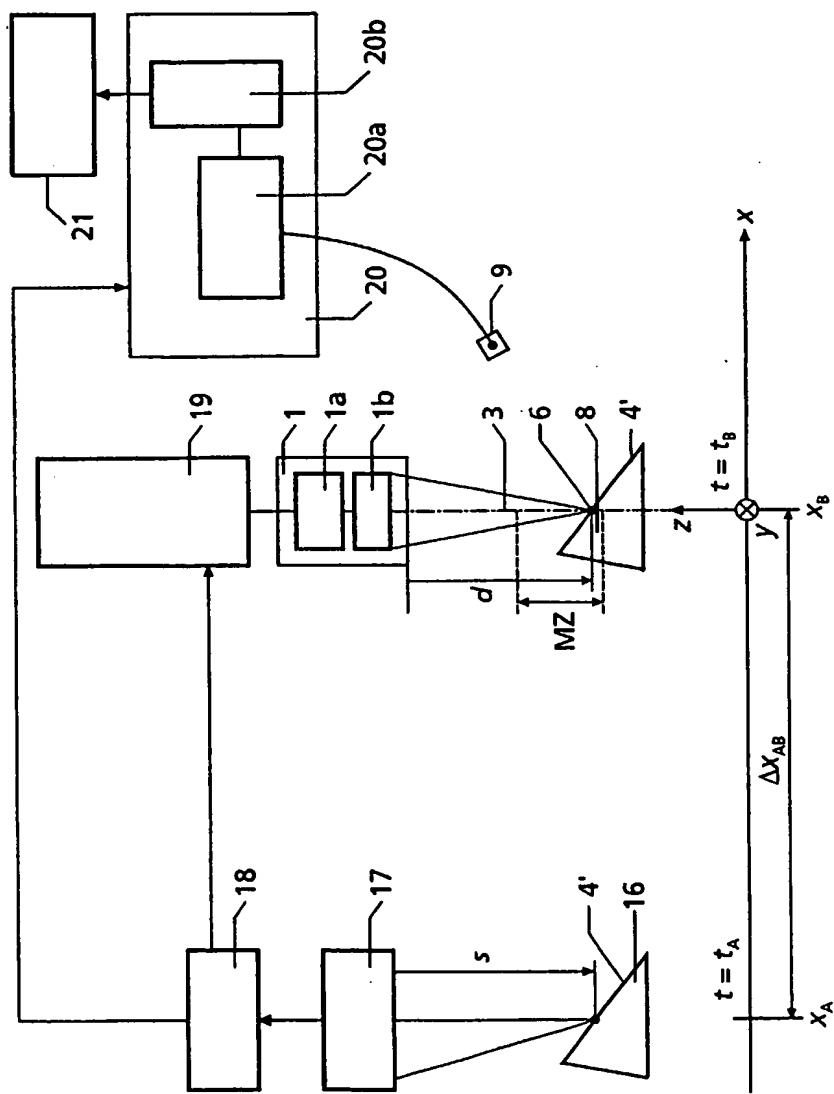


Fig. 5

6/6

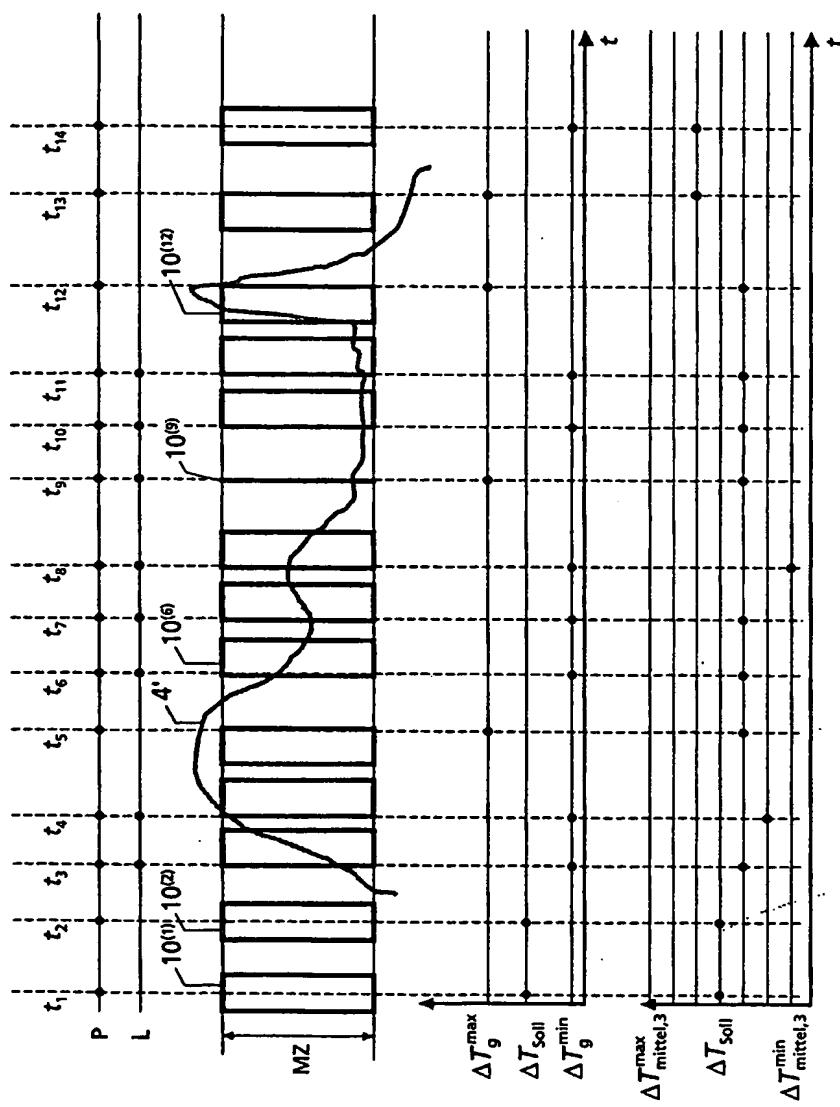


Fig. 6

1/4

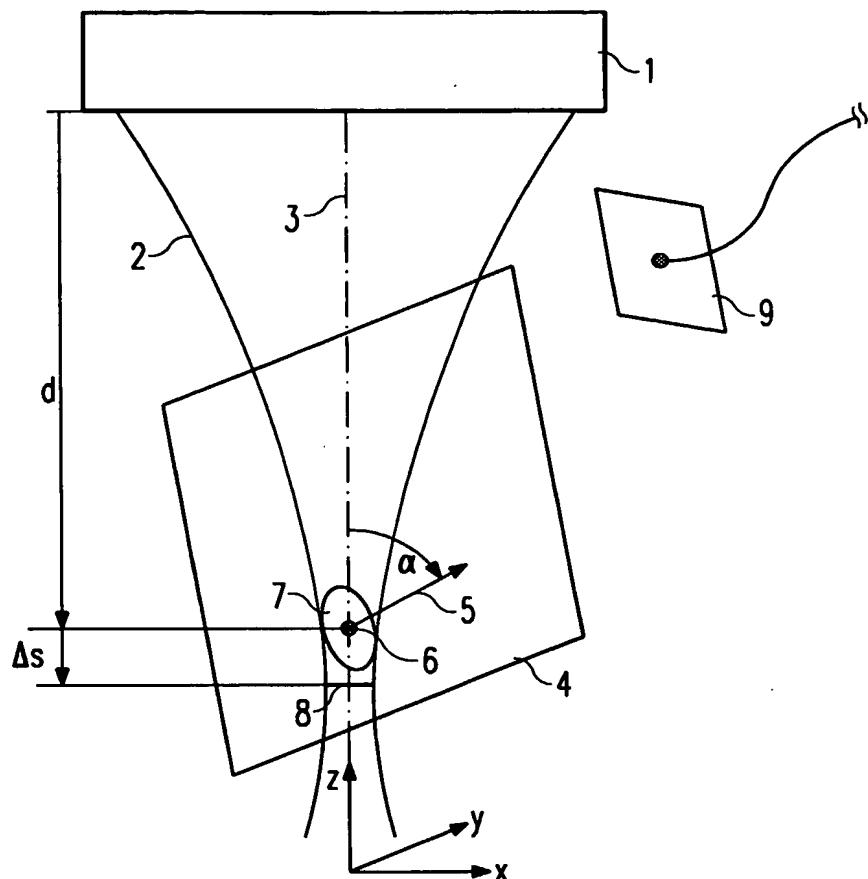


Fig. 1
Stand der Technik

2/4

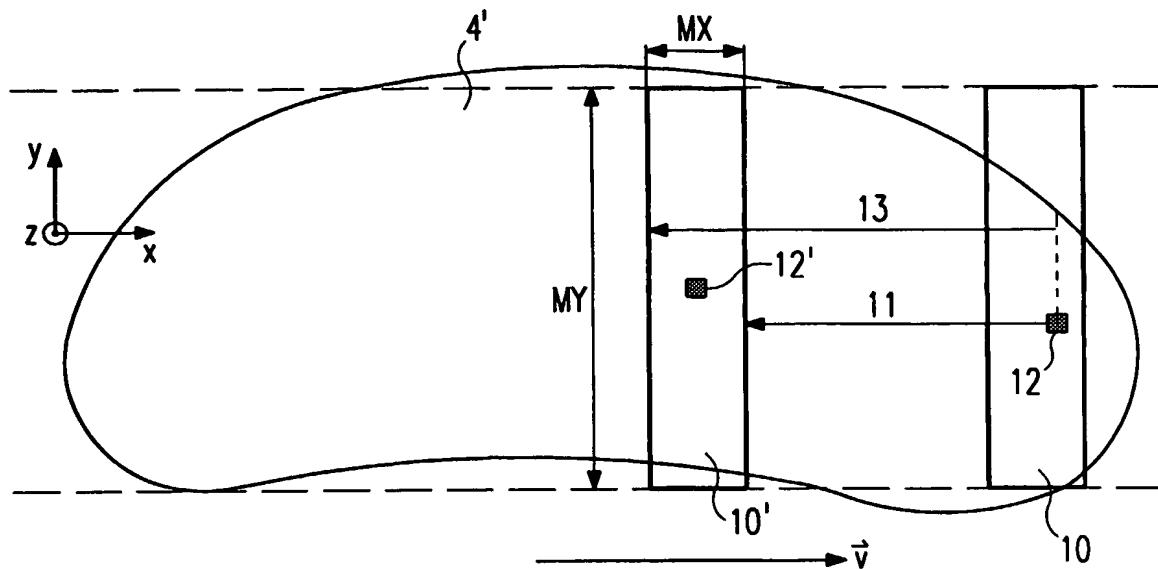


Fig. 2

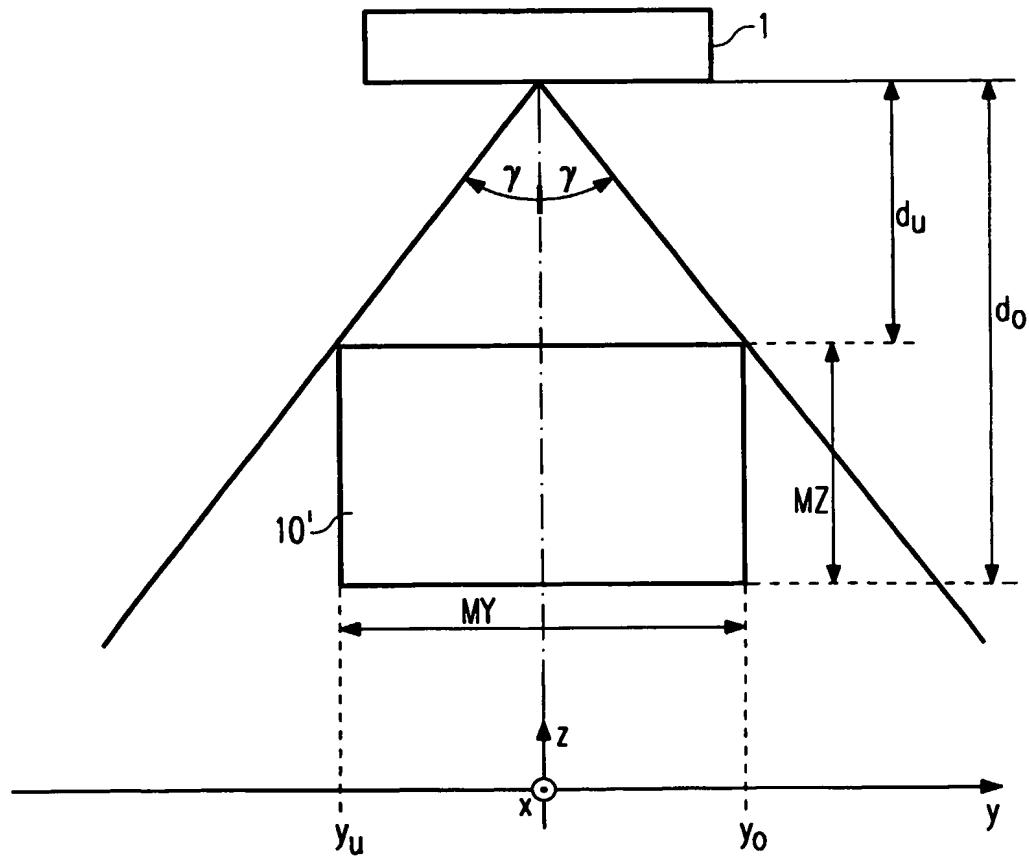
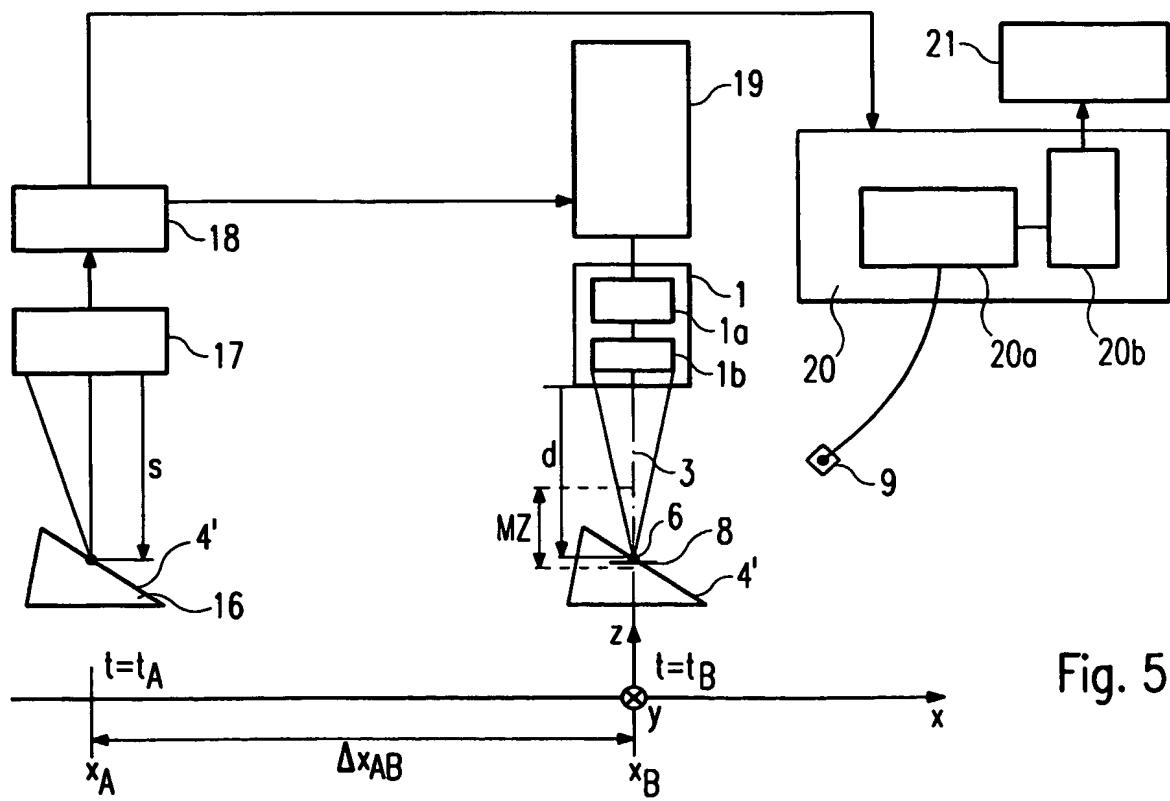
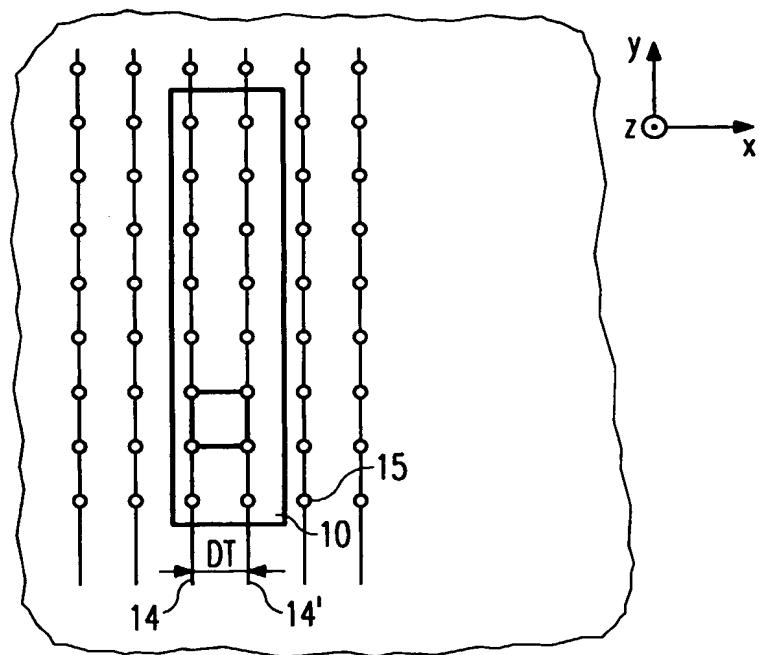
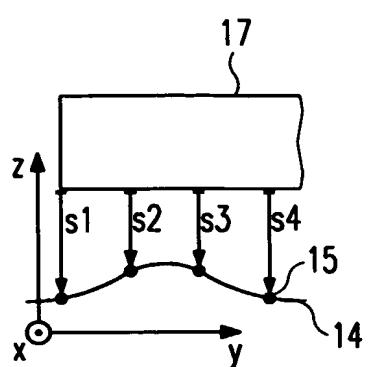


Fig. 3

3/4



4/4

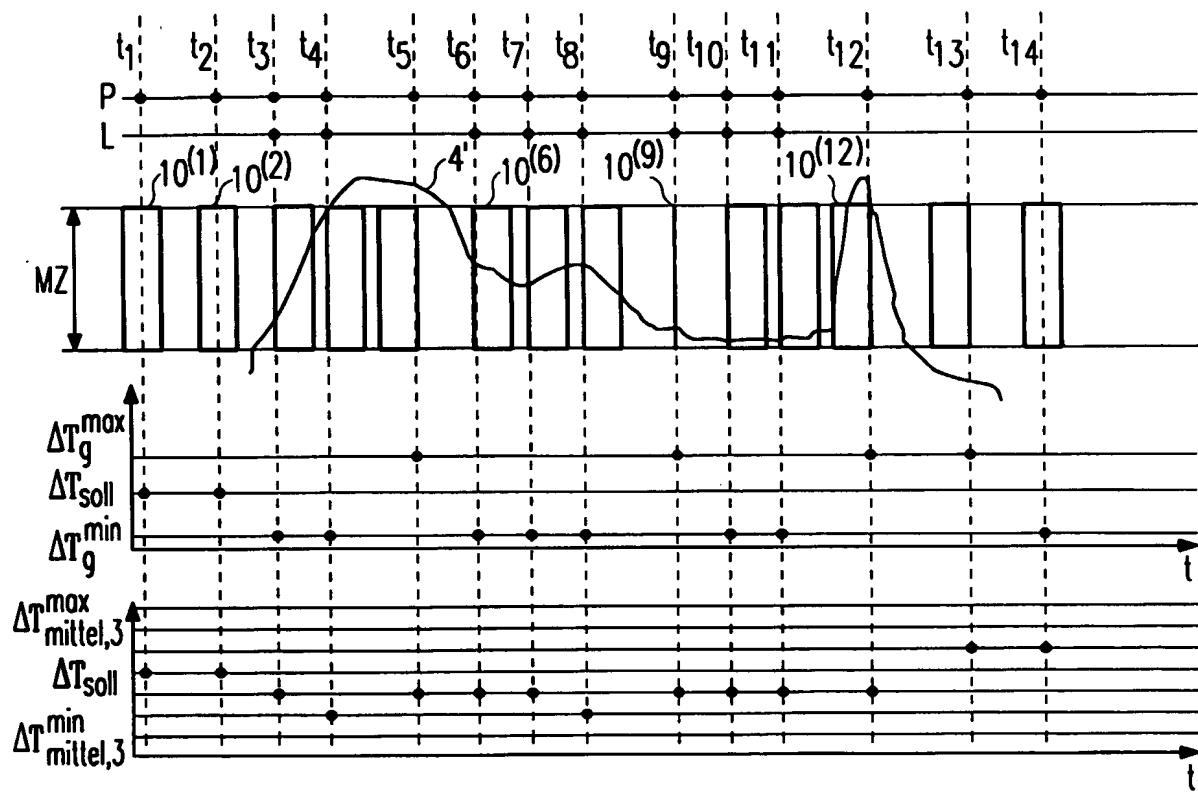


Fig. 6

(12) NACH DEM VERTRÄG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
8. Januar 2004 (08.01.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/003528 A3

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: **G01N 21/71**
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/006705
- (22) Internationales Anmeldedatum:
25. Juni 2003 (25.06.2003)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
102 29 498.4 1. Juli 2002 (01.07.2002) DE
- (71) Anmelder (*für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US*): **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E. V.** [DE/DE]; Hansastrasse 27c, 80686 München (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (*nur für US*): **NOLL, Reinhard** [DE/DE]; REINHARD NOLL, Brandenhofer Weg 72, 52066 Aachen (DE). **STEPPUTAT, Michael** [DE/DE]; Krätzstrasse 6, 83313 Siegsdorf (DE).
- (74) Anwalt: **GAGEL, Roland**; Landsbergerstrasse 480a, D-81241 München (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (*national*): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (84) Bestimmungsstaaten (*regional*): ARIPO Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- Veröffentlicht:
— mit internationalem Recherchenbericht
- (88) Veröffentlichungsdatum des internationalen Recherchenberichts: 23. Dezember 2004

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR CARRYING OUT EMISSION SPECTROMETRY

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR DURCHFÜHRUNG DER EMISSIONSSPEKTROMETRIE

(57) Abstract: The invention relates to a method and a device for carrying out emission spectroscopy, in particular laser emission spectroscopy. According to said method, a pulsed laser beam is automatically focussed on a workpiece to generate a laser-induced plasma, the radiation emitted from the plasma is detected and an elemental analysis is performed using the captured radiation spectrum. The invention is characterised in that a laser beam impingement is carried out with a variable pulse interval ΔT , that prior to the plasma generation, additional geometric parameters P 1, P 2 .. PN of a potential measurement location on the workpiece surface, in addition to the distance d of the autofocus lens from said workpiece surface are determined and in that an elemental analysis is only performed for the potential measurement locations, at which at least one of the additional geometric parameters lies within a predefined tolerance range [T1..T2].

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Durchführung der Emissionsspektroskopie, insbesondere der Laser-Emissionsspektroskopie, bei dem ein gepulster Laserstrahl zur Generierung eines laserinduzierten Plasmas automatisch auf ein Werkstück fokussiert wird, und bei dem die vom Plasma emittierte Strahlung detektiert und mit dem erfassten Strahlungsspektrum eine Elementanalyse durchgeführt wird. Die vorgeschlagenen Verbesserungen bestehen darin eine Laserstrahlbeaufschlagung mit variablem Pulsabstand ΔT vorzunehmen, um zum anderen darin, vor der Plasma-Generierung neben dem Abstand d der Autofokussieroptik zur Werkstückoberfläche zusätzliche Geometrie-Parameter P 1, P 2 .. PN eines potentiellen Messortes auf der Werkstückoberfläche zu bestimmen, und nur für diejenigen potentiellen Messorte eine Elementanalyse durchzuführen, bei denen sich mindestens einer der zusätzlichen Geometrie-Parameter innerhalb eines vorgegebenen Toleranzbereichs [T 1 .. T 2] befindet.

WO 2004/003528 A3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP 03/06705

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G01N21/71

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 G01N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, COMPENDEX, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	STEPPUTAT M ET AL: "High-Speed Detection of Additives in Technical Polymers with Laser-Induced Breakdown Spectrometry" VDI-BERICHTE, ANWENDUNGEN UND TRENDS IN DER OPTISCHEN ANALYSENMESSTECHNIK, vol. 1667, 2002, pages 35-40, XP001155758 Frankfurt, 26.-27.02.2002 cited in the application * Seiten 36-38 *	1,4,8,9
Y		10-13
X	---	17
A	DE 41 28 176 A (BLOHM & VOSS INT) 25 February 1993 (1993-02-25) the whole document ---	1,8,17 -/-

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the International search

18 February 2004

Date of mailing of the International search report

27.05.2004

Name and mailing address of the ISA
European Patent Office, P.B. 5818 Patentaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Hoogen, R

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internal Application No
PCT/EP 03/06705

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 702 550 A (JOGWICH MARTIN ET AL) 30 December 1997 (1997-12-30) * Spalte 5, Zeile 12 – Spalte 6, Zeile 35 * —	1,6,7,17
Y	US 5 042 947 A (POETZSCHKE MANFRED ET AL) 27 August 1991 (1991-08-27) * Spalte 3, Zeilen 7-33; Spalte 4, Zeilen 30-52 *	10-12
Y	DE 44 26 475 A (HOHLA KRISTIAN) 23 February 1995 (1995-02-23) * Spalte 2, Zeile 62 – Spalte 3, Zeile 12; Spalte 3, Zeilen 54-59 * —	10,11,13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP 03/06705

Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 1 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. Claims Nos.: because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. Claims Nos.: because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. Claims Nos.: because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 2 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

1. As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.



No protest accompanied the payment of additional search fees.

Continuation of Box II

The International Searching Authority has determined that this international application contains multiple (groups of) inventions, as follows:

1. Claims 1-9 and 17

Method and device for performing emission spectrometry, wherein a pulsed laser beam is automatically focussed on a workpiece to generate a plasma, the radiation emitted by the plasma is detected and an element analysis is carried out on the detected radiation spectrum, and wherein before the plasma is generated the distance between the auto-focussing optical system and the workpiece surface is determined together with other geometrical parameters of a potential measuring point on the workpiece surface, and the element analysis is only carried out for measuring points for which at least one of the other geometrical parameters is within a specified tolerance range.

2. Claims 10-16

Method and device for performing emission spectrometry, wherein a pulsed laser beam is automatically focussed on a workpiece to generate a plasma, the radiation emitted by the plasma is detected and an element analysis is carried out on the detected radiation spectrum, and wherein the laser beam is applied with a variable pulse interval.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP 03/06705

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)	Publication date
DE 4128176	A	25-02-1993	DE	4128176 A1	25-02-1993
US 5702550	A	30-12-1997	EP	0652430 A1	10-05-1995
			DE	69327463 D1	03-02-2000
			DE	69327463 T2	20-07-2000
			ES	2142839 T3	01-05-2000
			JP	7167785 A	04-07-1995
			US	5537207 A	16-07-1996
US 5042947	A	27-08-1991	DE	3718672 A1	15-12-1988
			AT	63641 T	15-06-1991
			AU	598133 B2	14-06-1990
			AU	1732588 A	08-12-1988
			CA	1329327 C	10-05-1994
			DE	3862809 D1	20-06-1991
			EP	0293983 A1	07-12-1988
			GR	3002025 T3	30-12-1992
			JP	2620805 B2	18-06-1997
			JP	63311150 A	19-12-1988
			MX	171103 B	30-09-1993
DE 4426475	A	23-02-1995	DE	4426475 A1	23-02-1995

INTERNATIONALES RECHERCHENBERICHT

Internationale Patentzeichen

PCT/EP 03/06705

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 GO1N21/71

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 GO1N

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, COMPENDEX, INSPEC

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	STEPPUTAT M ET AL: "High-Speed Detection of Additives in Technical Polymers with Laser-Induced Breakdown Spectrometry" VDI-BERICHTE, ANWENDUNGEN UND TRENDS IN DER OPTISCHEN ANALYSENMESSTECHNIK, Bd. 1667, 2002, Seiten 35-40, XP001155758 Frankfurt, 26.-27.02.2002 in der Anmeldung erwähnt * Seiten 36-38 *	1, 4, 8, 9
Y		10-13
X		17
A	DE 41 28 176 A (BLOHM & VOSS INT) 25. Februar 1993 (1993-02-25) das ganze Dokument ---	1, 8, 17
	-/-	

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

- * Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- *E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- *P* Veröffentlichung, die vor dem Internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

- *T* Spätere Veröffentlichung, die nach dem Internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- *X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- *Y* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- *&* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

18. Februar 2004

Absendedatum des Internationalen Recherchenberichts

27. 05. 2004

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Hoogen, R

INTERNATIONALES RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 03/06705

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der In Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 5 702 550 A (JOGWICH MARTIN ET AL) 30. Dezember 1997 (1997-12-30) * Spalte 5, Zeile 12 – Spalte 6, Zeile 35 * ---	1,6,7,17
Y	US 5 042 947 A (POETZSCHKE MANFRED ET AL) 27. August 1991 (1991-08-27) * Spalte 3, Zeilen 7-33; Spalte 4, Zeilen 30-52 *	10-12
Y	DE 44 26 475 A (HOHLA KRISTIAN) 23. Februar 1995 (1995-02-23) * Spalte 2, Zeile 62 – Spalte 3, Zeile 12; Spalte 3, Zeilen 54-59 *	10,11,13

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHTInternationales Aktenzeichen
PCT/EP 03/06705**Feld I Bemerkungen zu den Ansprüchen, die sich als nicht recherchierbar erwiesen haben (Fortsetzung von Punkt 2 auf Blatt 1)**

Gemäß Artikel 17(2)a) wurde aus folgenden Gründen für bestimmte Ansprüche kein Recherchenbericht erstellt:

1. Ansprüche Nr.
weil sie sich auf Gegenstände beziehen, zu deren Recherche die Behörde nicht verpflichtet ist, nämlich

2. Ansprüche Nr.
weil sie sich auf Teile der internationalen Anmeldung beziehen, die den vorgeschriebenen Anforderungen so wenig entsprechen, daß eine sinnvolle internationale Recherche nicht durchgeführt werden kann, nämlich

3. Ansprüche Nr.
weil es sich dabei um abhängige Ansprüche handelt, die nicht entsprechend Satz 2 und 3 der Regel 6.4 a) abgefaßt sind.

Feld II Bemerkungen bei mangelnder Einheitlichkeit der Erfindung (Fortsetzung von Punkt 3 auf Blatt 1)

Die Internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, daß diese internationale Anmeldung mehrere Erfindungen enthält:

1. Da der Anmelder alle erforderlichen zusätzlichen Recherchengebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht auf alle recherchierbaren Ansprüche.

2. Da für alle recherchierbaren Ansprüche die Recherche ohne einen Arbeitsaufwand durchgeführt werden konnte, der eine zusätzliche Recherchengebühr gerechtfertigt hätte, hat die Behörde nicht zur Zahlung einer solchen Gebühr aufgefordert.

3. Da der Anmelder nur einige der erforderlichen zusätzlichen Recherchengebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht nur auf die Ansprüche, für die Gebühren entrichtet worden sind, nämlich auf die Ansprüche Nr.

4. Der Anmelder hat die erforderlichen zusätzlichen Recherchengebühren nicht rechtzeitig entrichtet. Der internationale Recherchenbericht beschränkt sich daher auf die in den Ansprüchen zuerst erwähnte Erfindung; diese ist in folgenden Ansprüchen erfaßt:

Bemerkungen hinsichtlich eines Widerspruchs Die zusätzlichen Gebühren wurden vom Anmelder unter Widerspruch gezahlt. Die Zahlung zusätzlicher Recherchengebühren erfolgte ohne Widerspruch.

WEITERE ANGABEN

PCT/ISA/ 210

Die internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, daß diese internationale Anmeldung mehrere (Gruppen von) Erfindungen enthält, nämlich:

1. Ansprüche: 1-9,17

Verfahren und Vorrichtung zur Durchführung der Emissionsspektrometrie, bei dem ein gepulster Laserstrahl zur Generierung eines Plasmas automatisch auf ein Werkstück fokussiert, die vom Plasma emittierte Strahlung detektiert und mit dem erfassten Strahlungsspektrum eine Elementanalyse durchgeführt wird, wobei vor der Plasmagenerierung neben dem Abstand der Autofokussieroptik von der Werkstückoberfläche zusätzliche Geometrieparameter eines potentiellen Messortes auf der Werkstückoberfläche bestimmt werden und nur für die Messorte, bei denen sich mindestens einer der zusätzlichen Geometrieparameter innerhalb eines vorgegebenen Toleranzbereichs befindet, eine Elementanalyse durchgeführt wird.

2. Ansprüche: 10-16

Verfahren und Vorrichtung zur Durchführung der Emissionsspektrometrie, bei dem ein gepulster Laserstrahl zur Generierung eines Plasmas automatisch auf ein Werkstück fokussiert, die vom Plasma emittierte Strahlung detektiert und mit dem erfassten Strahlungsspektrum eine Elementanalyse durchgeführt wird, wobei die Laserstrahlbeaufschlagung mit variablem Pulsabstand erfolgt.

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationale Patentzeichen

PCT/EP 03/06705

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
DE 4128176	A	25-02-1993	DE	4128176 A1		25-02-1993
US 5702550	A	30-12-1997	EP	0652430 A1		10-05-1995
			DE	69327463 D1		03-02-2000
			DE	69327463 T2		20-07-2000
			ES	2142839 T3		01-05-2000
			JP	7167785 A		04-07-1995
			US	5537207 A		16-07-1996
US 5042947	A	27-08-1991	DE	3718672 A1		15-12-1988
			AT	63641 T		15-06-1991
			AU	598133 B2		14-06-1990
			AU	1732588 A		08-12-1988
			CA	1329327 C		10-05-1994
			DE	3862809 D1		20-06-1991
			EP	0293983 A1		07-12-1988
			GR	3002025 T3		30-12-1992
			JP	2620805 B2		18-06-1997
			JP	63311150 A		19-12-1988
			MX	171103 B		30-09-1993
DE 4426475	A	23-02-1995	DE	4426475 A1		23-02-1995